

子どもの自然認識の様態と指導過程に関する研究

—— 重さ，力に関する概念調査およびてこ教材の論理の構成について ——

高 橋 美 一

1 研究の構想

1 研究の課題と経過

この研究報告は，昭和42年度から始められた3か年継続研究の第3年次の内容についてまとめたものである。総合的な研究の課題は，理科教育の目標である科学的な見方や考え方，あるいは創造的態度を育成するために，子どもの認識過程を主体に追究しなければならないと考える。換言すると，「子どもの認識の実態を教師が適確には握しなければ，能率的・有効な教育活動は実現できない。」という命題を基底にしたものである。そのために，各種の作業仮説を設定して，実態調査や授業中の子どもの反応および事後調査から認識の様態を分析するとともに，発達段階に即した望ましい科学的概念の形成を究明することにある。

第1，2年次の研究の経過および本年度の研究計画の概要について述べてみる。

第1年次 力のつり合いに関する内容，4学年でてんびん，てこ，6学年でこ，輪軸，滑車の教材について，3・4・5・6学年の児童を研究対象とし，主として，教材内容およびつり合いの基本的概念を育成するという観点から，理解・知識の実態をさぐり，問題点を検討した。その結果，教材内容の難易および理解の欠除，視点のずれなどを指摘した。

（研究集録第1集 理科研究編（D）1968 理科学習における理解の実態に関する調査研究）

第2年次 第1年次に考察した問題点と予備調査の結果から，てんびん教材を中心に誤った認識傾向の実態分析を重点に，3～6学年を対象にした実態調査や，4学年の実験授業において論理的な指導を解決策とした認識変容の過程を究明した。その結果，日常生活での直観的・感覚的な判断による，強固な概念形成とその保持，教材の非本質的な属性を手がかりに判断する認識傾向，条件のコントロール，重さの保存性，可逆的な思考の欠陥などを指摘した。

（研究集録第2集 理科研究編（D）1969 子どもの自然認識の実態に関する研究）

第3年次 概念調査では「重さ」「力」の基礎的な概念がどのように形成されているか。4・5・6学年，中学校2年を対象に，概念の現状および形成の経過について，学年の段階を明確にし，教育内容との関連について考察する。実験授業では，第5学年でこ教材を対象に，力学的な法則性を獲得する認識過程の中核に，教材構成および子どもの論理を追究する。

2 本年度の研究主題設定の趣旨

これまでの重さ，力に関する調査結果では，生活経験的な概念，体感的な見方が高学年においてもかなりの高率を示している。また，重さのほかの属性（体積，長さ，表面積，動いているかいないか）の変化によって重さも変化する反応が認められた。望ましい概念形成としては，小学校の学習指導におい

て内容は低次であっても、実験・観察によって得られたものであり、より高次の概念体系へ発展する一連のものであることはいうまでもない。概念調査から現状を学年的に明確にし、非本質的な属性の克服をなぜし得なかったかを追究していくことは、内容の選択と学習過程の問題として必要であると考ええる。

学習過程の構成にあたっては、つぎに記載する二人の理論を教材構成の基本的なものとしてとらえた。

清水御代明は、¹⁾「概念形成は、(i)事例の多くの属性の中から概念の規定に關係する属性を抽象し、(ii)抽象された属性の組み合わせによって概念の内包を構成し、(iii)その概念に対して適切な反応を連合することからなる。」といっている。この主張は、概念形成の過程において、事象の本質的な属性が選択され、何らかの規則にしたがって結合されるが、非本質的な属性（この次元に關係しない属性）は、捨象されなければならないと解釈することができよう。この理論にもとづいて、教材内容を選択し、構成して、実践を試みようと考えた。

学習とは、行動の変容を起させることであるといわれている。この行動の変容について、コスチューク²⁾によって提起された「発達最近接領域論」を重視した。かれは、「子どもの発達の源泉になるものは、かれに固有な内部矛盾である。すべての発達は、それぞれに固有な内部の矛盾關係によって、引き起されるものであって……。 」と説明している。この理論は、外部から要求される課題や教材が、子どもの内部にズレや矛盾を引き起こし、外部からの課題を自分の能力によって内部矛盾を追求し、克服させ、認識を変容させることであるといえよう。このような矛盾を変容の契機とする考え方は、学習過程の構成において、ぜひ、必要であると考ええる。

てこ教材に関して、てこの法則性を発見する過程は、事象から仮説を設定し、実験データを分析して、さらに推論によって相互の關係を形成したりして、そこから1つの法則性を発見していくことである。この思考過程は、かなり複雑で高度な思考である。科学の方法を身につけさせることを目標とするのであれば、この能力の実態を検討したいと考えた。

教材内容について、支点からの距離とおもりの重さとの単なる計算に陥いることなく、つり合いに關係する本質的な要素の抽象や着力点とおもりの重さとの関數關係（相補性、可逆性、グラフの解釈を重視する）の見方の実態、筋肉感覚による力とおもりの重さとの統一的なとらえ方、重さの不変性を基礎にして、おもりの重さとてこにより生じた力の區別などを実践課題として設定した。

以上のような点を問題点として、力と重さに関する子どもの認識の実態を究明し、理科学習指導の改善のための基礎資料として、役立てたいと考える。

3 研究の目的

この研究は、主として小学校における重さと力に関する概念調査をとおして、事象の本質的な特徴をどのように認識しているか、その実態と教材内容を検討する。また、小学校5学年でこ教材を対象に、つり合いの事象に対する理解・知識および認識過程などの実態を検討し、主体的に認識を発展させる要因となるものを究明し、理科指導の改善を図ることを目的とする。

4 認識および認識過程について

2の研究の趣旨において、概念形成および発達の最近接領域論についてふれたが、研究の基本的な考

え方について、どのような見解に立って進めたか、参考文献を中心に整理してみる。

◎ 認識および認識過程について

新村出編、広辞苑では、認識は、「対象を感知し、これを分別し、判断する意識の作用」とある。

砂沢喜代次³⁾は、「さまざまな知識・技能・情操における思考の活動や内容を包括的に認識と呼ぶ」さらに、学習過程のすじみちの仮説の中で「認識」を「感覚——知覚——思考——概念形成——比較、分別、分析、総合、一般化、抽象化、具体化などにより——判断——推理——理解」と説明している。

金子惇一⁴⁾は、「子どもたちに自然の事実や法則が身につく——認識するということは、それらの事実や法則を軸にして、相互に関係ある多くの要素的知識が結合し、一つの構造を作りあげることである。」

上田 薫⁵⁾は、「認識は関係づけによって成立する。新しい関係が生れることによって成立する。そして新しい関係が生れるということは、矛盾が矛盾でなくなるということである。矛盾が解消され統一されるということである。」この意味では、認識が成立するためには、矛盾が前提になることを指摘しているといえる。

◎ 自然認識について

川上 進⁶⁾は、「自然についての認識は感覚 → 法則 → 実践という過程をたどる。認識は知覚から出発し、知覚のはたらきによって外界の存在物に対応する表象が構成される。この過程は直観的認識の過程であり、思惟のはたらきを含んでいない。えられた知覚表象は思惟的に整序されて相互関係の把握へと発展する。そのために比較、分析などの操作により知覚表象の中から共通な普遍的内容の抽象がほどこされて概念がつくられる。概念は抽象度の低いものから次第に抽象度の高いものへと発展しそれと平行して普遍性を高めていく。これらの抽象概念を用いて法則が記述される。」と述べている。上記の内容はつぎのように表現することもできよう。自然認識は、「感覚的把握 → 思考のはたらきにより帰納的論理的操作 → 法則 → 実験的・論理的な検証 → 普遍性の獲得」の過程において成立する。

5 研究の内容と方法の概略

この研究では、第1, 2年次の研究成果を受け継ぎながら「重さ」と「力」の概念調査および第5学年で教材を対象に実施したことはすでに述べた。全般的な作業仮説としてつぎの内容を設定した。

- ① 「力」「重さ」の概念は、筋肉感覚的な握や日常経験的なばく然とした認識、視覚的な影響などが大きく作用し、客観的な量としての認識は乏しいのではないか。
- ② 物質の重さについては、重さ以外の性質や状態の変化によって、重さも変化する見方が認められ物質固有の質量として、または、重さの不変性にもとづいた客観的な量としての見方は乏しい。
- ③ 棒の重さがつり合いに作用する意識は乏しいのではないか。棒の重さと力の関係、さらに、つり合った後は、棒の重さを捨象する見方を導入することは、てこ実験器へ移行する上で重要である。
- ④ おもりの重さとてこにより生じた力を混同する傾向がある。おもりの重さと筋肉感覚による力を同一効果として統一的にとらえさせることは、てこによる力を理解する上で役立つ。
- ⑤ てこの原理（相乗関係）を発見的にとらえることは困難でないか。実験データーをグラフ化し、グラフの解釈をとおして、相補の関係から関数関係へ導くことは有効である。
- ⑥ 支点に作用するおもりの重さとつり合いの力を混同する傾向がある。重さの推移率を観点として

定量的な認識を育成することが有効である。

前述の仮説に対応させて実施した、概念調査、授業、事前・事後・把持調査、個別面接による調査について略述する。

(1) 概念調査

調査問題 ①, ②は仮説①に, ③, ④, ⑤は仮説②に対応させて作成した。このことは, 調査結果を関連的に考察することによって, それぞれの仮説の認識の実態を検討することが可能であると考えた。

調査内容は, 「重さ」「力」の概念形成の様態を段階的には握するという意図から, とくに理解・知識の欠除が予想される内容を出題した。

調査の方法は, 質問紙による自由記述と多肢選択法に回答の理由を併記させる方法をとった。調査結果の処理および考察は, 学校差を無視して全体的傾向を中心に, 認識の様態を学年別にまとめた。反応結果は, 百分比で表わしたが参考までに取りあげた。

(2) 実験授業

① これまでの研究の結果判明した問題点にもとづいて, ②～⑥までの仮説に示した改善策を講じて, 仮説⑤を中心に指導過程を構成し, 筆者が直接指導した。授業をとおしての認識変容の実態をは握するため, 発問に対する反応, 予想の理由などをノートに記録させ, また, 可能な範囲で録音することに努めた。

② 事前・事後・把持調査は, 同一問題を使用し学習効果の検討を行なった。調査問題は, ③は仮説②に, ④は仮説③に, ⑤, ⑥は仮説④に, ⑦, ⑧は仮説⑤に, ⑨, ⑩は仮説⑥に対応させて作成した。

調査の方法は, 質問紙による多肢選択法に回答理由を併記させて, 分析の客観性を高め, 判断の背景をさぐるように努めた。

調査結果の処理は, 学期末の成績を中心に, 知能偏差値を参考にして, 成績の上位, 中位, 下位群に分け, 事前, 事後調査結果の比較, 評価マトリックスによる学習効果, 把持率などを検討した。

(3) 個別面接による調査

調査問題アについて, 成績の上位2名, 中位4名, 下位2名計8名を対象にし, 課題解決における思考の様相を調べる形式で, てこのおもりと支点からの距離の相互関係の見方を事例的に考察した。

(4) 研究対象の児童・生徒と時期

概念調査対象の児童・生徒は, 調査内容の学年的発達を追った認識の実態をは握するために, 4, 5, 6学年, 中学2学年を対象にして実施した。調査学級は, 新潟市内の小学校A, B2校, 中学校C, D2校を選択し, 各学年1学級ずつ, 延べ8学級について実施した。実験授業はA校5学年1学級である。学習状況は, 小学校は現在の学年での力学教材の指導後であり, 中学校は指導前の調査になる。

表-1 研究対象および経過一覧

研究 学年 学級	4 年		5 年		6 年		中・2年		備 考
	A	B	A	B	A	B	C	D	
概念調査	←								昭44.12.8～23
事前調査			←→						昭44.12.9
授業			←→						昭44.12.18～20
事後調査			←→						昭44.12.22
把持調査			←→						昭45.1.23
個別面接調査			←→						昭44.12.23

Ⅱ 研究の結果と考察

1 概念調査の結果と考察

(1) 重さの概念

「重さ」ということばが、物理学ではどのように定義されるか。学校教育ではどのように用いられるか、などはまだ明示していない。ここでは、重さの概念を児童・生徒の反応に即して分析し、具体的にどのような見方をなしうるようになることかという観点から、追究する。重さを定義させた結果を示す。

表一 2 調査問題①の結果 重さの定義 (反応数は百分比で示した以下同じ)

内 容	4 学 年	5 学 年	6 学 年	中・2 学 年
① 客観的な見方や知識として		(3.9)	(6.2)	(35.2)
・ 質量や重量のように1つの独立した量としたもの				3.6
・ 引力や重力の定義をし、その引力としたもの		1.3	3.7	26.8
・ はかりによって重さを順序づけたもの		2.6	2.5	4.8
② 事後的な重さの関係からみたもの	(28.7)	(25.9)	(50.9)	(33.8)
・ はかりにかけたとき目盛に現われたもの(重さ)	2.7	7.8	8.7	7.3
・ 形状に影響された見方	2.7			
・ 体積(または大きさ、表面積)と重さの混乱した見方	11.1	2.6	3.7	3.6
・ そのものの保有するもの(重さまたは力)	1.3	2.6	5	2.4
・ 実験例から(やじろべえ、てんびん)	2.7		3.7	6.0
・ 下に引っぱられた落ちようとする力、引力、重力など	8.2	12.9	29.8	14.5
③ 筋肉的感覚的なものとして	(27.6)	(27.3)	(12.4)	(13.4)
・ 手で持ったときの抵抗感(重い感じ)による重さ	19.3	17.0	8.7	11.0
・ 抵抗感の大小を順序づけたもの	8.3	10.3	3.7	2.4
④ その他	(34.7)	(22.3)	(17.4)	(7.3)
・ いいかえ(体重、目方、物の重さ)	34.7	22.3	14.9	7.3
・ 目に見えないもの			2.5	
⑤ 無 答	4.8	19.6	11.2	7.3

現行の算数指導書、理科指導書には、重さ＝質量と重さ＝重力のふたつの使い方がみられるが、両者をとくに区別せずに重さと呼んでいると考えられる。重力の加速度が一定の場合は、とくに区別しなくても不便な点はないので、むしろ区別せずに指導した方がよいと考える。ここでは質量の意味で使う。

この調査は自由記述法を用いたので、やや主観的な解釈が含まれることをことわっておく。③筋肉感覚による抵抗感、②の計量による重さ、下へ引っぱられる力、などの反応率を各学年別に増加、減少の傾向から整序すると、重さの概念の形成過程をつぎのように想定されると思われる。

物体が落下する現象や引っぱられる事実→筋肉感覚に重さとして現われる抵抗感→抵抗感における大小の順序→計量による順序づけ→物体を引く力(重力)、物質固有の質量の順である。

ここでは、どのような経過をたどるのが望ましいかの論は除外して、科学教育の出発点である「物質の不滅の原理」すなわち、すべての物に重さがある。そして重さは不変である。という原理にもとづいて各段階の理解の様態を分析し、問題となる認識について考察を行なう。

物体を持ったときの抵抗感で判断する段階では、抵抗感のないもの(空気・煙など)には重さもないと判断され、重さのあるもの、重さのないものに区別される。次に、抵抗感の大小で順序づける段階では、大きい物は重く、小さい物は軽いという大きさと重さの混乱がみられたり、石は木より重いというような観念的な弁別がみられる。さらに、変形したり、分割すると重さも変化する見方も存在する。

このような認識の様態に対して、望ましい重さの概念ということは、独立した重さの次元で比較判断が正確に行なえることであろう。すなわち、感覚による重さと計量による比較判断が一致することなく、各段階において、具体的に知覚される重さの状態から、重さ以外の非本質的な次元を捨象して、重さについての正しい情報処理ができるようになることであると考えられる。重さの保存性は⑤で検討する。

(2) 力の概念

力とは質点の運動量の時間的変化が、これに働く力に等しい。とか、力はベクトル量であるなどの定義を対象にしたものではない。物体はたえず変化する運動している、その原因となる相互作用のことを力というのである。身のまわりの事象に対して、力学的な見方を身につけさせることは、科学的な考えを養うためにきわめて重要であると考えられる。力学的な見方をする場合、出発点として、何を選択したらよいか、力学的な見方が、どのような段階をとおして、どう認識されているのかは握りたいと考えた。

表一三 調査問題②の結果

力 の 定 義

内 容	4 学 年	5 学 年	6 学 年	中・2 学 年
① 客観的な見方や知識として	(8.2)	(9.1)	(27.4)	(38.1)
・ エネルギーとして抽象化された性質、量的な見方		1.3	1.2	9.7
・ 物体を動かしたり、押すことのできる作用	6.9	7.8	26.2	23.6
・ ある物体のだすエネルギー	1.3		(物を動かす力)	4.8
② 事例的な現象面から見たもの	(12.2)	(16.9)	(17.4)	(34.0)
・ ある重い物を動かす、持ち上げることのできるもの	8.3	6.5	8.7	8.7
・ ある物体に加える重さ	1.3		2.5	6.0
・ その物体の保有するもの		1.3	2.5	3.6
・ 重力、引力に抵抗して動かすもの	1.3	1.3	1.2	2.4
・ 実験例(てこ)などの事例によるもの	1.3		2.5	3.6
・ 圧力、馬力、重力など		7.8		9.7
③ 筋肉的感觉的なものとして	(74.1)	(49.4)	(41.2)	(20.8)
・ 人が重いものを持ったり、押すときに知覚するもの	25.5	11.6	16.2	9.7
・ 持つ、引くなどの筋肉のはたらきとしたもの	16.6	7.8	11.2	8.7
・ 体 力	7.9	1.3		
・ ほねおり、忍耐力、がんばり	1.3	7.8	3.7	1.2
・ 人間や動物のもっているもの	12.5	17.0	3.7	
・ 人のもっている強さ(能力)	10.3	3.9	6.4	1.2
④ 無 答	2.7	23.6	13.7	7.2

反応を大まかに3項目に分け、各項目の特徴をみると、③ 筋肉的感觉的な反応については、4 学年では74%と高率である。学令が増すにつれて、反応率は減少を示しているが、中学2年で20%保持している点が着目される。小項目において、力の意識される対象は、人間や動物に限定されている。

② 事例的な反応については、重い物を移動(作用)することのできる固有な物体としての見方は、各学年において、ほぼ8%の平均した反応率が認められる。

① 客観的な見方については、物体と物体の相互関係において、客観的な作用として力をは握する見方である。これは、6 学年、中学2年において急激に増加を示している。

上記の全体的な反応傾向から、つぎのような認識の段階が想定される。

感覚を有するものが物体から直接知覚されるもの →物を動かすことのできる物体 →物体と物体の相互作用としての力 →エネルギーとして量的な見方である。

このように段階的にみると、小学校では、人の力を基準にして筋肉感覚による力の指導から、順次物

体と物体の相互作用へと発展する指導内容の系統が考えられる。しかし、現在では、直接操作の可能な現象を対象に、力と運動の関係から運動を起こさせた力を抽象させる方向へ展開される。その手がかりとして、具体物の重さに着目し、重さの作用として力学的な見方ができるように指導過程を構成する一貫した系列であるとする。体感的な力は、各单元において、必要に応じて導入し、人の力と物体の力を統一した量として認識されるように指導内容を構成しているとする。調査結果の見方は、主として生活経験にもとづいて形成された強固な認識（実態）であることを指摘できよう。

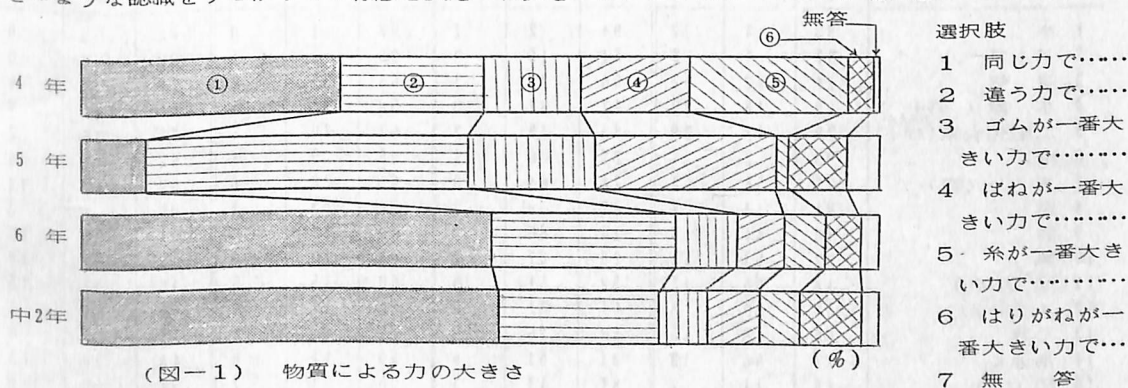
人の力を基準にして、力の概念を展開することは危険であることを指摘した。子どもの認識の様態として、筋肉感覚の段階では、同じ重量の物体をおとなと子どもが持った場合、力を出している者の保有する力の総和との比で考え、両者に反応が分れる混乱した認識が認められる。また、板倉聖宣は、仮説実験授業⁷⁾において、台秤上で、直立、片足で立つ、すわるなど状態を変えた場合、体重も変化した認識が存在することを指摘している。力の問題は、人間の感覚から分離してとらえた上で、事象をみていると、力学的な見方は形成されないと考える。重力を基底にした展開が重視されよう。

物体と物体の相互関係の段階では、力の大きさを質量の単位である g で表わす考え方から、てこに生じた大きな力がおもりに転換され、質量の変化する見方が構成される。この点、「何 g ぶんの重」を導入して成功させた実践例は参考になる。

ばねの伸び方、てこの单元は、数量的な取り扱いから、ただちに関係式に展開され、計算を重視する傾向がある。このために、体感による力は放置され、体感的な認識を低次な段階で残存させる原因となっている。ここでは、一般的な、物質と力の関係を主眼にした教材であり、たとえば、「大きな力を加えれば、小さな力を加えたより、多く縮み、それだけ大きな力ではねかえす。」という見方をさせることが重要である。

調査問題③の結果と考察

等しい質量の物体を、ばね、ゴム、糸、はりがねでつるした場合、力の大きさはつるす物質が違ってもどのような認識をするか、その様態と反応の根拠をみようとしたものである。結果をグラフに示す。



全体的反応傾向をみると、選択肢1同じ力でつりさげているでは、6学年、中学2年で50%、そのほかは30%以下である。選択肢2それぞれ違う力では、5学年を除き約20%の反応である。そのほかは反応率の高い順に示すと、ばね、ゴム、糸、はりがねである。違う力の選択肢2～6を合わせると50%以上の反応率である。非常にばらつきが激しく、つるした物質の性質、状態によって判断してい

と思われる。しかも、それには相当の理由のある見方をしている。5 学年のおもな理由を示すと、

- 伸びると細くなる。
- ① — 4 つとも同じ力でつりさげている
 - 同じ重さだから、引っばる力も同じ。
 - おもりの重さ同じ。
 - もとは同じ長さだから、同じ力。
- ② — 4 つとも違う力でつりさげている
 - 性質がちがう、弾力のあるものがあるから。
 - ゴム、ばねは伸び、糸、はりがねは伸びない。
 - 力がみんなばらばらだから。
 - みんな違う重さだから、違う力。
- ③ — ゴムが一番大きい力でつりさげている
 - ゴムは一番伸び縮みし、重く感じるから。
 - ……伸ばさないように大きな力で引いている。
 - ゴムの伸びが大きく、それに耐えるから。
 - はねかえす力があるから。
- ④ — ばねが一番大きい力でつりさげている。
 - もどろうとするから。
 - ばねは弾力がある。
 - 鉄ではりより太いから。
 - 伸び縮みがきいて、硬いから。
 - ばねは大きな力を持っているし、反動がある。
- ⑤ — 糸が一番大きな力でつりさげている
 - 一番弱いから。
 - ばねやはりがねと比べて、太さが違うから。
 - 糸は伸びないで、つるしているから。
- ⑥ — はりがねが一番大きい力でつりさげている
 - はりがねが一番重い。
 - はりがねが太い。
 - 一番伸びない。
 - 一番切れにくい。
 - 大きい力をもっている。

力は可視的なものでないために、現象からだけでは混乱を起こしやすいことが指摘できる。小学校 6 学年のばねの単元において、ばねの伸びとおもりの重さとの 2 種の変量から比例関係を求める学習だけではなされないといえよう。このような誤った認識は、単純な事象であるが、意識的に、または論理的に数量を検討する学習過程の中で、矛盾する事象として導入し、矛盾を克服させる展開が必要である。

(3) 物質の重さ

重さを物体の属性と考えずに、重い物体を持ったときの筋肉の感覚的な抵抗感であると認識する段階では、重さのない物体が存在することを指摘した。あらゆる物質には重さがあるという確信を、どの程度もっているか、認識の様態を調べようと考えた。

表一4 調査問題4の結果 重さの有無(%) (不は、よくわからないものを示す。)

物質名	4 学 年			5 学 年			6 学 年			中学 2 学 年		
反応	有	無	不	有	無	不	有	無	不	有	無	不
1 水	93	4	2	94	2	2	98	1	0	98	1	0
2 アルコール	87	4	8	81	15	2	95	3	1	98	1	0
3 空 気	24	62	12	56	39	3	63	33	2	79	14	6
4 水 素 (<small>れんそ</small>)	29	48	29	47	31	20	58	36	5	58	23	7
5 二酸化炭素 (<small>たんそ</small>)	29	48	29	83	13	2	62	20	5	76	15	7
6 雨	93	2	4	87	6	5	95	5	1	92	0	6
7 き り (霧)	27	58	1	28	64	6	62	28	8	62	19	18
8 雪	84	11	4	87	9	2	96	2	1	96	0	3
9 雲	40	44	15	24	66	7	66	27	6	61	23	15
10 風	22	63	13	28	67	7	51	40	8	19	61	19
11 煙 (<small>けむり</small>)	18	66	15	32	61	5	50	45	5	46	37	15
12 ふうせん	61	30	8	64	31	3	87	11	1	87	9	2
13 うき	66	18	15	53	26	19	82	11	6	71	5	6
14 あぶく	27	58	13	31	61	6	50	41	8	48	30	23
15 綿 (<small>わた</small>)	86	11	2	81	13	3	95	2	2	97	0	2
16 うすい紙	74	19	5	68	20	10	92	7	0	93	6	0
17 ボール紙	87	5	6	86	7	5	98	1	0	100	0	0
18 太 陽	72	5	22	78	13	7	87	5	7	72	9	18
19 星	68	9	22	74	10	14	86	5	8	69	12	18
20 地 球	89	5	5	81	9	9	90	2	7	76	7	15

21. とんでいる鳥	74	18	6	56	34	9	85	13	1	76	17	6
22. とんでいるトンボ	69	23	6	53	35	10	85	12	2	75	17	7
23. 木にとまっている鳥	90	5	4	80	10	9	96	1	2	91	6	2
24. " トンボ	80	12	6	77	11	10	96	1	2	91	6	2
25. およいでいる魚	74	16	4	68	20	9	87	7	5	84	10	4
26. とんでいるボール	71	19	4	53	40	5	85	13	1	78	13	8
27. 電気	37	43	18	31	53	14	36	53	10	15	65	18
28. 力	45	33	19	45	39	14	53	36	10	32	48	18
29. 熱	15	55	29	19	78	14	22	67	10	6	85	8
30. 色	6	63	26	9	76	14	5	88	6	1	87	10

あらゆる物質には重さがあるという概念は、学令とともに増加している。中学2学年の反応をみると身近な事象における固体、液体は、重さがあると確信することができるが、気体や超遠距離にある物体および、空気中や水中にある物体などには、まだ重さがないと考える反応がかなり認められる。これは重さの概念がまだ、感性的な認識の段階にとどまっていて、物質の属性としてとらえられていないためであると思われる。物質でないもの（電気、力など）にも重さが認められる反応は、学令とともに減少している。小学校の子どもにおいては予想以上によい反応であるが、感覚的な抵抗感から判断したもののと思われ、中学校の生徒の理解とは質的に異なるものとする。

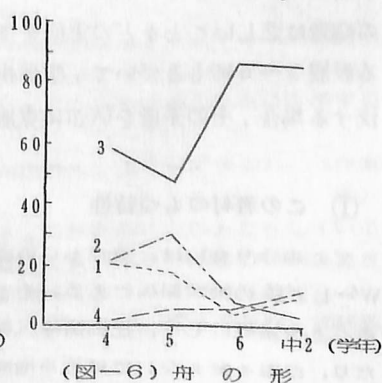
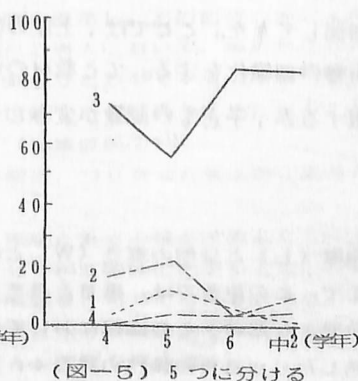
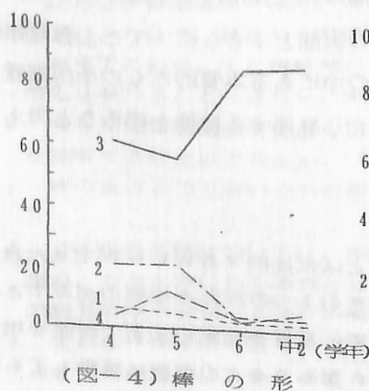
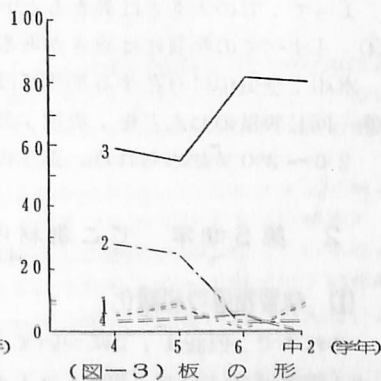
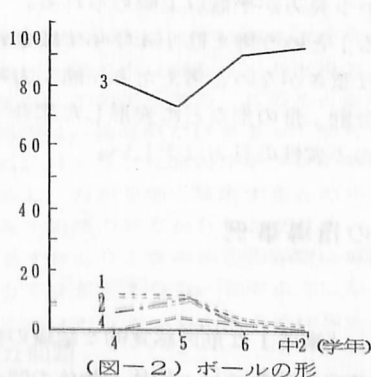
あらゆる物質に重さがあることを明確にし、重さを物質の基本的な属性としては握させることは、正しい物質観を育てる上で、重要なことであると考えられる。

(4) 重さの保存概念

調査問題⑤の結果と考察

問題⑤は、ねんどをまるめてサイコロの形を基準にし、(1)から(5)のように変形した場合の重さを聞いた。（選択肢は共通）

- 1 重くなる。
- 2 軽くなる。
- 3 変わらない。
- 4 わからない。



重さの保存(不変性)概念は、物体の変形に対する不変性、可逆性($a + b = c$, $c - b = a$)の思考が形成されたかどうかが基準になるといわれている。また、一般には、3, 4 学年において完成の域に近づくとされている。この点に関しても、認識の様態はかなり不確であることも指摘した。重さの概念を形成するには、どのような学習をしなければならないか、ここでは変形に関する認識を調査する。

前のページの調査結果をみると、(1)のボール形の場合は、かなり高率の反応を示すが、ねんどを平板状や棒状、小さな粒、舟形に変えると軽くなるという考えが、20~30%認められる。重さは物体の固有のものであり、外部からの出入りがない限り、全体の重さ是不変であるという重さの保存の概念を確信していない子どもがかなりの数存在することがわかる。このような視覚に惑わされたり、形の大小、厚さ、数量の増減にともなう先入感は、年齢が進むにつれて、自然発生的に解消するという論もみられるが、最近の心理学の動向にもとづいても、早期に適切な刺激を与え能力を促進することが必要である。したがって、学習指導過程の中で意図的、論理的に指導することが望ましいと考える。

(5) 概念調査のまとめ

- ① 重さの概念は、学令が増えるにつれて、筋肉感覚にもとづいた抵抗感から、物質に存在する固有の量、または重力的な見方へと深められてくる。しかし、中学2年においても筋肉感覚的な見方がかなり残存し、重さを独立した次元で、正しく比較判断するための障害になっている。
- ② 力の概念は、学令が増えるにつれて、筋肉感覚的な見方から物体と物体の間における相互作用のはたらきとしての見方へ深められる。筋肉感覚的な握は、中学2学年でも20%保持している。
- ③ 同じ重力の物質を、ゴム、ばね、糸、はりがねなどでつりさげた場合、つるす物質の重さや性質によって、力の大きさは異なるという見方が半数以上認められる。
- ④ 「すべての物質には重さがある」という考えは、4 学年ではきわめて低い。中学2年においても、水中、空气中に存在する物体には重さがないと考えたり、熱、力に重さがあるという考えがみられる。
- ⑤ 同じ質量のねんどを、板状、分割、舟の形などに変形した場合、軽くなるという考え方は、各学年20~30%認められる。重さの不変性の見方は乏しい。

2 第5学年 てこ教材の指導事例

(1) 学習指導の組織化

これまで、仮説1, 2について、「重さ」は筋肉感覚的な認識の傾向が認められ、重さの不変性に関する認識は低いこと、「力」は人の力を基準にし、物体と物体の間の相互作用におけるはたらきとしての認識は乏しいことなどの実態を指摘してきた。ここでは、上記の実態と、さらに「てこ」教材に関する仮説3~6にもとづいて、学習指導の組織化をする。てこ教材の中にある本質的なものや法則性と対決する場合、その矛盾をいかに克服するか、子どもの認識が変容し、発展する様態を探ろうと考えた。

① この教材のもつ特性

てこのつり合いは、支点からの距離(L)と分銅の重さ(W)とは反比例する $WL = W' L'$ または $W/W' = L/L'$ の乗法関係にある。そこで、この事象では、重さと長さの2つの次元を相補の見方でとらえることを基盤にして、比例関係へ発展させたい。その過程において、重さを一定のままで距離を増減したり、距離を変えないで重さを増減したりする可逆操作の見方や、おもりをどの位置に移動しても保存

されるなどの見方を秩序づけることができる。これらの見方にもとづいて、単なる操作的な関係づけから、測定をとおして数量的な相互の関係を理解させたい。また期待されるものの見方としては、

- ・現象的な比較観察から、事象に関係する本質的な諸要素を関係づけてみる多面的な見方を養える。
- ・因果関係をとらえる分析・総合の過程において、非本質的な要素を無視する思考の転換を訓練できる。

② 単元について

- 現行の学習指導要領では、第4学年に「てこに関心をもち、その使い方にくふうする。」と道具としてのてこのはたらきをとりあげ、第6学年に「てこについて、3点間の距離と、はたらく力の関係を数量的に調べ、……」とつり合いの観点からとりあげる、2つに分けて学習するように配列されている。新学習指導要領では、この両者を第5学年で学習するようになった。すなわち、てこのはたらきの感覚的な納得と数量的な解析（定量的な見方）との両面を連続的、発展的に一連の学習とした。
- この学習を進めるまでの主たる既習経験としては、2年生のやしろべえで、おもりの重さや位置を変えると傾きが変わることを学習し、4年生のてんびんで、つり合いには、左右につるすものの重さと支点からの距離が関係することを定性的にとらえさせてきた。
- この教材では、支点、力点、作用点という力のはたらく点とてこをささえる力をはっきりとらえさせ、てこのつり合いがおもりの重さと三点間の距離に関係することを定量的に確かめさせる。この場合てこを傾ける力を筋肉の感覚でとらえさせることから出発し、力の大小をより明確にとらえる方法として、おもりを使用する。じゅうぶん意味を理解させてから実験させるようにしたい。
- てこ実験器の使用に際しては、左右の長さが等しくない場合、棒の重さがおもりの役目をするようになる点に気づかせ、その障害をとり除くことができることを理解させてから、使用させたい。

③ この教材の構造的な考察

- 力の概念を構成する立場から
具体的なものから抽象的なものへ——筋肉感覚でとらえた力の大きさを同一効果をひきおこす重さで表わすことを理解させる。
- てこのつり合いの定量的概念形成のすじみち
てこの一端に適当なおもりをのせたとき、他端を手で押しても、おもりをつるしても同一効果があることをはっきりさせる。
- a 力点、作用点、支点について、意味と実感的な納得をさせる。
- b 作用点の位置を固定しておき、一定の力（おもり）を支点の近くより順に移動して、作用点にあらわれる力の大きさををはかる。また、この逆もする。このことから、子どもたちは力点が遠くなるにしたがって、作用点にあらわれる力は、同じ数だけきまって増えていくというような形でつり合いの関係を相補の見方からつかませる。（グラフ化およびグラフの解釈から規則的な見方へ導く。）
- c 作用点に一定のおもりをつるし、力点を順に移動すると力点にかかる力は、いつもきまって減っていくという形でつり合いの関係を相補の見方からつかませる。（グラフ化およびグラフの解釈）
- d b, cの実験結果から、つるすおもりと支点からの距離は規則正しい逆の関係になっていること、おもりや距離を予想することもできるであろう。このようにして、「距離×力＝距離×力」の規則性をつかみとらせる。また、てこのはたらきを力の大小の作用として一般化させなければならない。

④ 指導にあたっての具体的な問題

一般的な学習指導案では、具体目標の設定、具体的な教材配列などの問題もあるが、割愛した。作業仮説にもとづいて、具体的な問題を提示し、この研究の構成を明確にした。

- a 実用でこから、てこ実験器への導入において、棒の静止した状態を基準に、手で押す力の代わりにおもりをつること、さらに、おもりとおもりでもつり合う事実を発見できるか。（作業仮説①）
- b おもりは作用線上ならどの位置でもつり合うこと、また、おもりの質量は棒の1点に作用することを理解することができるか。（作業仮説②）
- c 棒の重さとつり合いの力の関係、つり合った後は棒の重さを捨象した見方ができるか。（作業仮説③）
- d てこの規則性については、距離と重さの積を求めることによって数量的にとらえたとしている。作用点、力点が力のかかる点として相互関係にあることを、おもりと支点からの距離の相補の見方や測定結果のグラフ化、グラフの解釈をとおして考えさせることが有効である。（作業仮説⑤）
- e 支点到作用するおもりの重さとつり合いの力を混同する見方については、重さの保存、推移率を観点として定量的にとらえることが理解を深める。

⑤ 学習指導過程の概略

実際の指導において、問題点をどのように考えて学習指導過程を構成したか、強調する部分を重点に記載し、そのほかは略述した。(配当時間6時間、てこの原理の応用は割愛した。)

学習活動および教師の意図的な活動を中心に示す。

- 1 1本の棒を使って、重いものをらくに動かすには、どうしたらよいか。
 - 体重の重い人と軽い人が、シーソーに乗ったとき、どこに乗ればよいか。(理由を話し合う 位置、傾き方、重さの見方)

- 重い人を重い石と考えると、石をらく(小さな力)に動かすには、棒をどのように使えばよいか。

(方法は多面的にとらえさせる。力のはたらく3点、力のはたらく位置と方向)

- 小さな力で動かすには、何を調べたらよいか話し合う。(支点が中でのてこ)

- 実験の方法、予想、条件の規制

- 支点と作用点の位置を固定し、力点の位置を変えて調べる。

- 支点と力点の位置を固定し、作用点を変えて調べる。

(支点を移動する場面は除く。代表実験)

- らくに動かすには、力点、作用点をどこにすればよいか話し合う。

- 2 石を全部持ちあげるには、棒をどのように使ったらよいか。

(実用てこの実験結果を基礎にする。手で押さないで別な方法でできないか。石と石のつり合いへ。)

- つるすひもの長さを変えたら、力の大きさは変わるか。

(手や石の引く位置を変えてみる。引く力の作用する点)

- 3 実用てこのきまりを、もっと詳しく調べてみよう。

- 実用てことして実験器の差異点、共通点を話し合う。

- 実用てこと同じ形にしてみる。おもりをつけて、つり合わせる。

- てんびんの形で調べられることを考える。(棒の重さの捨象)

- 力点、作用点の外側の長さは、つり合いに関係しないことを調べる。

- 4 作用点までの距離を固定し、力点に一定の重さを順次移動させた場合の作用点に表われる重さ(力)を調べる。

(実用てこの結果をもとに、実験計画をたてる。作用点の実感を重視)

- 実験結果を表に整理し、わかったことをノートにまとめる。

- 結果を話し合う。さらに、グラフ化し、どんなことがいえるか話し合う。

- 5 作用点のおもりと距離を固定し、力点を順次移動してつり合いを調べる。(進め方は4と同じ)

- 6 4と5の実験結果から、どんな関係がわかるか話し合う。

(グラフの解釈を中心に、相補の見方、数量的な関係をみる)

- 実験を行なわないで、力点の重さや距離をみつけないことはできないか考える。

- つり合いのきまりは、指で押した場合にも、あてはまるか。

- 7 実用てこの2番目の方法も、てこ実験器で調べられないか。

- てこ実験器で支点が外にある方法を考える。(3点の名称、力の方向)

(支点から力点までの距離を確認する)

- ばねばかりを用い、4、5の実験を行ない結果をまとめる。

- 支点が中心にあるてこと比較して、どんなことがいえるかとまとめる。

- 8 力点、作用点、支点の中で、力のいちばんかかるところはどこか。

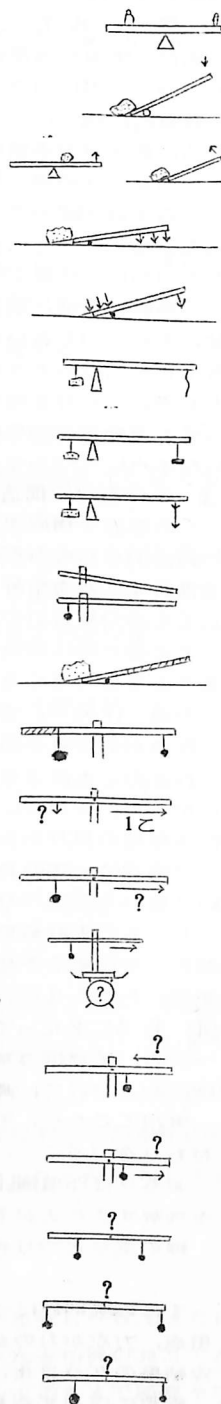
- おもりの位置を変えると、重さはどうなるか。

左20g、右20gのとき、はかりのめもりはどうなるか。

(支点からの距離を変えた場合、または、左右の重さが違う場合)

- 支点にかかる重さは、棒の重さと両方のおもりの重さがかかっている。

または、両方のおもりの重さの和がかかっている。



(2) 学習指導の実際とその考察

指導案にもとづいて授業を実施した。授業中の子どもの反応やノートおよび事後調査の結果などを資料にし、具体的な問題点を検討する。それによって、力学的な法則性を獲得する過程および本教材に関する認識上の課題を解明する手がかりが得られると考える。学習効果の判定は(3)で検討する。

① 学習指導の実際

—a 実用てこから、ブロックをつるす場面を導入し、てこ実験器への手がかりをみる過程——

T1 シーソーにおいて重い人と軽い人のつり合いから、実用てこの機能を確認した後の展開場面、

この棒を使って、ブロックを全部持ちあげられないだろうか。

C1 かつぐ。?

C2 石が棒から落ちないように、むすぶ。

C3 石を結んでつける。(つるすこと)

T2 石を全部持ちあげるのだよ。

C4 支点を机の上にして、高くする。

T3 支点を高くして、石を動かすことは、

C5 反対側を下に押すこと。

C6 なるべく支点のそばへ結んで、端の方を押す。

(さっきの棒のときと同じようにする。私語)

—C10の後、実験によって確かめてから、ひもの長さを変えてつり合いを考えさせる場面——

紙面の都合から概略すると、ひもの中央部分と先端を引いた場合、中央部分が大きな力がある、先端は図のように支点から遠くなるから軽くなるという考えが多数をしめた。

しかし、ひもの長さを変えておもりをさげた場合は、長い方へ傾くという強固な反応が認められた。

—c 実用てこにおいては、左右の棒の重さが異なったことを意識させる場面——

てこ実験器の棒を、実用てこと同じ状態にかけて、

(おもり8こをつり合うことを確かめる。)

C1 作用点の方よりも、力点の方が重いから。

C2 棒が長いから、こっちの方は重い。

C3 長い棒と短い棒でやったとき、長い棒が軽かったのは、重さが関係した。

T1 棒をつり合わせてみましょう。

T2 棒の端の方を押すと少しの力で、つり合わせることができたのはまちがいですか。

C4 いいえ(一斉)

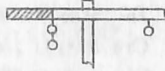
T3 左右の力を比べるには、どうすればよいか。

C5 棒の長さを同じにすればよい。

—c' 棒をつり合わせた後は、棒の重さを捨象してみる場面——

T4 左のおもりから外側の部分

をノコギリで切ったら、つり合いはどうなりますか。



C5 つり合わないと思う。前には棒の重さも入れてつり合わせたのだから、切った棒の重さも関係する。

C6 つり合っていたのだから、切ってもつり合う。

C7 今もつり合っているのだから、左の方を切ったら、右の方も切れれば別だけど、反対側は切らないのだから、つり合わない。

C8 もとつり合ったのは同じ長さだったのだから同じずつ切って同じつり合いなので、片方だけ多く切るとつり合いません。

C9 片方だけ切ったら、おもりが2つついている方が重くなると思います。それは、端の方が引きつける力が強いので、重くなります。

C10 反対、このおもりは、あくまでも下へ引っばっているのであって、角材の重さはそうとうあって、引きつける力はいくらあっても、切らなかった方へ傾く。

C11 引きつける力は、おもりが多い方が強いというのだけれども、支点からの長さが関係しているのだから、切らない方が長いのだから傾く。

T5 じゃ実際に切ってみましょう。

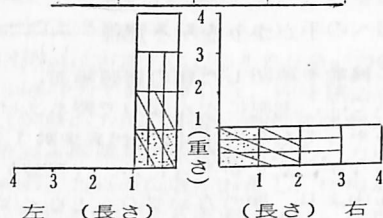
C12 最初、長い方だけ切って、それから反対側を切ってください。

—d 実用てこの実験結果を基礎に、てこ実験器を使用して、てこの規則性を追究する過程——

—ア 作用点の距離を固定し、力点に一定のおもりを順次移動させたり合い —

表-5

左		右	
重さ	長さ	重さ	長さ
1	1	1	1
2	1	2	1
3	1	3	1
4	1	4	1



(図-7)

—イ 作用点のおもりと距離を固定し、力点を順次移動させたり合い。 —

(表-6)

左		右		
重さ	長さ	長さ	重さ	計算
3	3	1	9	9
3	3	2	4.5	4.5
3	3	3	3	3
3	3	4	2.25	2.25
3	3	5	1.8	1.8

C14 左のおもりの重さ×支点からの距離÷右の支点からの距離でおもりの重さが得ます。

アにおいて考えついた乗法を確信し、つり合いの見方を深めることができたと思える。しかし、単純な計算の記憶に陥らないように、図-8の解釈をとおして、距離が大で重さが小の場合や、距離が小で重さが大の場合でも力の大きさは同一効果を示すこと。支点からの距離と重さは、それぞれが作用し補い合っているという力学的な見方を重視させた。

—ウ 力は連続的であり、おもりの重さと指の力とは同一効果を示す統一的な見方を養う場面 —



T5 表-6では、支点から離れるとおもりは少なくなってくるが、指で押した場合も調べてみよう。

T6 最初の241gは、何の重さですか。

C15 台と棒の重さ。

T7 1めもり、2めもりと順に押していきます。

C16 320、300、294、290、

—エ てこのつり合いに関する規則性を見方 (つり合いの関係をノートにまとめさせた。)

ひとりの記録から、① おもりの重さが重いと長さが短かく、長さが長いと軽いおもりでつり合う。

② 片方のおもりの重さと支点からの距離をかけて、もう片方も同じ方法にして、同じ力のときつり合う。③ おもり1個と、てこの1めもりとは同じはたらきをする。

—e てこにより生ずる力とおもりの重さとを分離させ、支点に作用する力を明確にする場面 —

T1 おもりの位置を変えると、つり合う力も変わるが、このときかかる力はどうなるか。

C1 重さは変わらないので、力が変わるのだと思う。

C2 下へ引っばる力が変わるのです。

T2 その力は、どこへかかるの。

T1 表からどんなことがわかりましたか。

C1 めもりと同じ数だけ、おもりをやるとつり合う。

C2 長さが1こずつ増えると、おもりも1こずつふやすとつり合う。

C3 1めもりの長さは、おもり1こに考えられる。

C4 左の重さと右の長さは同じ関係になる。

T2 グラフからはどんなことがわかりますか。(表をグラフ化する)

C5 右の長さが3で重さが1のとき、左の長さが1で重さが3のとき、かけると3になって同じ大きさでつり合う。

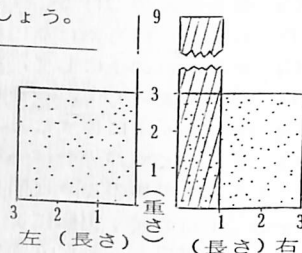
C6 かけ算をした。(同じ考え方はかに2名) C7 九九みだ。

C8 面積の計算と同じみだ。 C9 面積じゃないけど。

C10 青い線の左側の面積と青い線の右側の面積は、同じです。

C11 大きな長さ×小さな力、小さな長さ×大きな力

T3 左の長さとおもりの重さをかけたのと、右の長さとおもりの重さをかけた答が同じときにつり合うという関係があるようですが、ほんとうにいえるか、次の方法で調べてみましょう。



(図-8)

1 グループの実験結果を示す。計算は自主的に行なったものである。

T4 左の表から考えたことは、

C12 おもりの重さと長さをかけた数が同じときにつり合う。

C13 つけたし、そのときに支点からのきよりが大きくなると、おもりは少なくなる。

C7 支点から離れると、少しの力でつり合う。

T8 おもりとおもりのつり合いでは。

C18 290

T9 おもり1個は25gだよ。

C19 おもり2個で50gだから、棒と台の重さをたすと291だから、だいたい合う。

C20 指で押したのと同じだ。

C3 下の方へ。 C4 支点

T3 支点にはねばかりをつけて、計ったら。

C5 両方のおもりの重さ。

C6 おもりが下へ引っばる力が出る。(重力?)

C7 棒の重さと片方にかかるおもりの重さ。

C8 棒の重さとおもりが引っぱる力です。

T4 どうやって確かめますか。

C9 棒の重さとおもりの重さを知ってからする。

(おもり 35 g, 棒 66 g, つり合うとき 137 g)

C10 おもりと棒の重さです。引っぱる力ではない。

T5 両方とも端の方へ置いたらどうなりますか。

C11 引っぱる力なら、大きくなる。(結果 137)

T6 左は 1, 右は 2 のつり合うときは、何 g か。

C12 171 g。おもりが 3 で 105, 棒が 66
で 171 になる。(結果 172 g)

② 学習指導後の考察

a 実用てこからの移行について 実用てこの定性的体感的な理解を基礎に、水平のつり合いへ、さらに手の力から物体の作用へと発展させるスモールステップ学習を構成したが、予想以上に時間を必要とした。実用てこは、最小の力で最大限の力を得るという機能的な握である。この場面では類似性が高いと考えたが、どの点を転換すればよいのか、その場面を想定するのに抵抗が大きかったものと考ええる。傾いた状態のつり合いから、やじろべえやてんびんの水平につり合った状態へと、つり合いの状態を基準にして、既習経験と対比しながら、共通な部分を抽象させる配慮が不足であったように考える。

b 作用線上のおもりの位置について 長さの同じ糸で、長さを変えておもりをさげると、今までの調査では半数以上は、長い方へ傾くという反応を示す。下の方が強く引く、びんとはって伸びているから力があるなどの体感的、視覚的な観点から判断している。この場面では、実用てこの実験結果にもとづいて、ひもを棒の方向へ延長し、支点からの距離が大きくなるという反応が多く認められた。

力点、作用点は、筋肉感覚をとおして直接知覚した状態における力点、作用点である。したがって、てこ実験器における着力点の位置と方向はかなり異なる見方をする。おもりは下へ引き、糸の結びめは上へ、中間では上へ、棒に接する部分では下へ引くと逆の方へとらえているようである。てんびん教材などで、このような既成概念では矛盾する課題場面を設定し、認識の変容を図ることが重要である。

c 棒の重さの捨象について この学習で最も問題になるのは、着力点の外側の腕の長さかつり合いの関係である。着力点の外側はてんびんのようにシンメトリーの状態であれば問題はないが、左右のおもりが異なるつり合いでは、当然関係した見方が認められる。つり合った後は、腕の重さは捨象してとらえるという論理的な見方は、具体物を使つての操作をとおして、きめ細かに展開させる必要がある。

これらは、事物に即して考えるという分析、客観性の面に対し、思考においては、逆に物から離れ、抽象的な水準で考える論理性の大事なこと、または困難な点を示すものと考ええる。また、つり合いの事象は、感覚的、視覚的な見方から分離した上で、とらえないと力学的な見方は形成されないと考える。

d つり合いにおける規則性について この学習は、てこ実験器によるつり合いの状態を数量的に思考させて法則性を発見させるものである。子どもの規則性発見の能力を検討したいと考えた。一般的な方法では、いくら実験データーを準備しても表の解釈からは、相乗関係を期待することは困難である。加法関係は考えられるが、満足させない事例から反対されることになる。ここでは、(1)の③に示した定量的な概念形成のすじみちに即して、グラフの解釈をとおして、データーをたんねんに分析し、関係を推察する思考場面を重視した。結論的には、上記の加法関係は認められず、相乗関係を発見させることができ、有効であったと考える。また、算数との相乗の効果があったと思われる。子どもたちの思考は、具体 → 抽象し原理を確認(概念) → 具体的に発展する認識過程に即して学習されたものといえよう。

e てこに生ずる力と重さの分離について 支点に作用する力の数量的な分析をとおして、おもりの重さとしてこに生ずる力とを分離させようと考えた。この内容は、学習効果を検討する事前・事後・把持

調査の問題においても検討される。おもりが中央から先端へ移動した場合、支点から遠ざかれば重くなり、近づけば軽くなると具体的な操作を手がかりにした認識がある。すなわち、距離大と重さ大を同一効果を示す見方から、おもりの重さとしてこの力との混同した見方、または、重さの不変性を欠く見方である。このような視覚的、日常経験的に形成された概念は、論理的にまたは計量をとおして数量的に分析された学習によって、はじめて、力学的な概念が形成されるものと考えらる。

(3) 学習効果の検討

この研究は、比較実験法をとらず、一群法によって児童の認識の変容を検討するものである。仮説②～⑥に対応させて10問の調査問題を作成し、同一問題について、事前・事後、把持調査を実施し、結果を比べることにより、学習による変容と把持の状態をとらえることにする。また、実験学級の児童を第1, 2学期における理科の成績を中心に、知能偏差値にもとづく上位群, 下位群各10名, 中位群20名の群を編成して、各群別の学習効果を検討する。とくに統計的な検証を行なうものではない。

① 事前, 事後調査の結果

(表一七) 得点からみた、事前調査から事後調査への変化 (％)

調査別 群問題	事 前 (T ₁)				事 後 (T ₂)				T ₂ - T ₁			
	上位	中位	下位	全体	上位	中位	下位	全体	上位	中位	下位	全体
1	90	95	90	92.5	100	100	90	97.5	10	10	0	4.7
2	90	90	50	80.0	100	80	80	85.0	10	10	30	5.0
	90	80	60	77.5	100	80	70	82.5	10	0	10	5.0
3	10	20	20	17.5	100	80	60	80.0	90	0	40	62.5
4	60	80	60	70.0	100	85	60	82.5	40	65	0	12.5
5	20	15	20	17.5	100	60	30	55.0	80	45	10	37.5
6	40	30	10	27.5	60	60	30	52.5	20	30	20	25.0
7	80	90	70	82.5	100	95	60	87.5	20	5		5.0
	80	85	50	75.0	90	75	50	72.5	5		0	
8	0	25	20	17.5	20	25	40	27.5	20	0	20	10.0
	0	15	10	10.0	20	15	20	17.5	20	0	10	7.5
9	0	40	20	25.0	80	45	10	45.0	80	5		20.0
	10	30	40	32.5	80	60	50	62.5	70	30	10	30.0
10	20	20	50	27.5	80	40	30	47.5	60	20		20.0
計	43.6	51.5	40.8	45.3	78.5	64.3	48.6	63.7	94.9	12.8	7.8	18.4

a 事前調査の結果からみると、問1, 2は力の働く方向、問7の左右対称なつり合いは各群とも高率である。問3の糸の長さを変えた場合、問5, 6の棒の先端へ移動した場合の力の大きさ、

問8の第2でこ、問9の支点に作用する力などは、各群とも低率である。平均45%の正答である。

b 事後調査の結果についてみると、3, 5, 6, 10問について変化が認められる。上位群78, 中位群64, 下位群48, 平均63%の正答率である。T₂-T₁を百分比のままみると、上位群には著しい変化が認められ、下位群は理解の度合いが低い。また、問8の第2でこは、理解の度合いおよび学習効果ともに低率であり、設問の不備および指導法上の問題となるところである。

事前調査の正答率に比べて事後調査のそれは一般に上昇するのが普通であるが、問7の下位群は、逆に3%低下している。でたらめ応答やT₁からT₂への変化の様態を、評価マトリックスを用いて、類型別

調査 類型	a	b	c	d
事前調査	○	○	×	×
事後調査	○	×	○	×

に比較することにした。a, dは学習の効果が認められないもの、bは
 応答がでたらめのもの、cは学習効果のあったものなどの型に分ける。
 $(c - b) \div (c + d) \times 100$ の式により、学習効果を算出した。

(表一八) 各群の反応類型

(○○～××は実数、効率は%)

群 型 問題	上 位 群					中 位 群					下 位 群					計				
	○○	○×	×○	××	効率	○○	○×	×○	××	効率	○○	○×	×○	××	効率	○○	○×	×○	××	効率
1	9	0	1	0	0	20	0	0	0	0	9	0	0	1	0	39	0	0	1	0
2	9	0	1	0	1000	15	3	1	1		7	0	1	2	333	31	3	3	3	0
	9	0	1	0	1000	12	3	4	1	200	7	0	0	3	0	28	3	5	4	222
3	2	0	8	0	1000	5	0	10	5	65.6	1	0	5	4	55.5	8	0	23	9	71.9
4	6	0	4	0	1000	15	1	2	2	25.0	4	2	2	2	0	25	3	8	4	41.6
5	2	0	5	3	62.5	2	1	9	8	47.0	1	1	2	6	12.5	5	2	16	17	42.4
6	3	1	2	4	16.7	3	3	9	5	42.8	1	0	2	7	22.2	7	4	13	16	31.0
7	8	0	2	0	1000	17	2	1	0		4	3	2	1		29	5	5	1	0
	7	1	1	1	0	13	4	2	1		2	3	3	2	0	22	8	6	4	
8	0	0	3	7	33.2	2	3	3	12	0	1	1	3	5	25.0	3	4	9	24	15.3
	0	0	3	7	33.2	0	3	3	14	0	0	1	2	7	11.1	0	4	8	28	11.1
9	0	0	8	2	80.0	5	3	4	8	8.3	1	1	1	7	0	6	4	13	17	30.0
	1	1	6	2	62.5	4	2	8	6	42.8	2	2	3	3	16.6	7	5	17	11	42.8
10	2	0	6	2	75.0	3	1	5	10	26.6	1	3	2	4		6	4	13	16	31.1
計	59	3	50	28	60.2	116	29	61	73	23.8	41	17	28	54	13.4	216	49	139	155	30.6

○○, ××型の場合、必ずしも学習効果が認められなかったとはいえないであろう。T₁からT₂にいたるまでには学習の深まりは認めてもよいであろう。×○型の実数をみると上位群と中位群、下位群とではかなりの違いが認められ、逆に○×型では、上位群は延べ3の反応に対し、中位群は29、下位群は17である。T₁からT₂への伸びが小さかったのは、○×の数の大きさにも原因があるといえる。また、問9の第2てこについては、××型の数が大きく、効率も低いことから、反応状況を検討する必要がある。

c ここで各調査問題について、問題ごとのねらいと、事後調査の反応状況について概述する。

問1, 2は、てこにおける力の方向について理解の様態をみたものである。問1, 2とも正答率は高い数値を示し、問題はないと考えられる。力の大きさは出題していないが、むしろこの点に問題があらう。

問3は、着力点の作用線上なら、糸の長さやおもりの位置を無視できるかみたものである。正答率は78%と高率を示し、学習効果の著しい事象である。糸の長い方は力が大きいという反応は14%。

問4は、重さの違うおもりをつけてつり合わせた場合、片方の着力点の外側の長さ(重さ)をどのように考えるか聞いたものである。正答率は88%と高率である。おもりの大きさに着目した者は7%いる。

問5は、支点が中央のてこで、指で先端の方へ順次移動した場合、てこの力と着力点に加わる力を分離できるか聞いたものである。だんだん小さくなる47%、だんだん大きくなる26%、変わらない19%であり、ばらつきが激しい。支点から離れるから大きな力と同一視した見方、体感的な見方など。

問6は、第2てこについて、問5と同じ内容を出題した。だんだん小さくなる47%、だんだん大き

くなる38%である。問5と正答率は同じであるが、到達が不十分のように思われる。

問7は、支点が中央のてこのつり合いについて、おもりと距離の関係を握っているかみたものである。正答率は①と②の完全正答が65%である。左右対称なつり合いは91%正答である。

問8は、第2てこについて、問7と同じ内容を出題した。正答率は、①が26%、②が19%と低い値を示し、理解の困難さが表わされている。理由は未詳だが、60gのおもりより、大きい数値を示したものは、①で26%、②で30%である。おもりを支点から離すと大きな力が現われる実験場面が影響を与えているのではないかと思われる。

問9は、支点に作用する力について、おもりの重さとしてこの力を分離できるか聞いたものである。①は同じおもりの重さならば、支点からの距離を大きくしても変わらないが47%、重くなるか35%である。②は支点に作用する力はおもりの重さである64%、引っぱる力である33%認められた。

問10は、重さの違うおもりでつり合った場合について、問9と同じ内容を出題した。正答率は47%である。40gより少し重くなる33%である。問9と同様に支点からの距離が変わるとつり合いも変化する現象に着目し、おもりと支点からの相互作用として分析、総合する思考の不十分な反応が認められる。

② 把持調査の結果

(表一)

把 持 率

(把持調査の得点÷事後調査の得点×100)

群	問題	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	全 体				
上 位		100.0	100.0	100.0	80.0	90.0	71.4	100.0	100.0	111.2	100.0	100.0	87.6	87.5	62.5	91.8
中 位		100.0	118.7	112.5	87.5	100.0	108.2	79.1	73.7	100.0	80.0	66.6	88.9	58.4	87.5	90.5
下 位		100.0	100.0	114.2	83.4	100.0	100.0	66.6	133.2	100.0	25.0		200.0	60.0	33.3	89.7
全 体		100.0	108.7	108.9	84.4	96.9	95.4	80.9	91.4	103.4	63.9	57.2	94.4	68.0	68.4	91.9

学習が終了してから1か月の経過時間があるから、把持率は100%を下回るものと予想されたが、100%を越えるものが2問認められる。これは、5学年の力学教材が3学期末に配当されていることから、主として、生活経験により付加されたものと考えられる。全体で91%の把持率であるが、上位群は各問題とも安定した反応を示し、下位群は、変化の大きいものが認められる。しかし、変化の検定を行っていないので、信頼のあることはいえない。

この研究では、個別面接において、てこのつり合いを対象に課題解決の過程を調査したが、割合した。

おわりに

この研究では、主として、小学校における望ましい力および重さの概念を育成するという立場から、6項目の作業仮説にもとづいて、概念調査および実験授業を実施した。児童の認識の実態と問題点、認識を発展させる要因の考察に関して詳細は、概念調査のまとめ、実験授業後の考察を参照されたい。

全体的に、概念調査の結果、認識はいづれもふじゅうぶんであり、中学2学年においても生活経験的または直感的・感覚的な考え方から、誤った類推がかなり認められた。4・5学年の認識傾向と6・中学2学年との認識傾向ではかなり異なっており、6・中学2学年では程度の差はあれ質的な相違はみられないようである。5学年のてこ教材の論理については、具体的操作を離れて抽象的な思考にはいるまでの具体的思考に問題があるようである。重さの不変性、相補の関係、推移率を抽象して思考する教材を導入して、それにもとづく論理的操作ができるように訓練することが望ましいと考えられる。

この研究を実施するにあたり、研究協力校としてご協力いただいた学校の職員および児童に深く感謝の意を表するものである。ペーパーテストによる調査なので、校名は省略させていただくことにした。

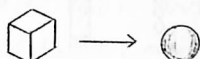
参 考 文 献

- | | | |
|--------------|--------------|---------|
| 1) 清水御代明ほか著 | 現代思考心理学 3 | 明治図書 |
| 2) コスチューク | 学習心理学ハンドブック | 金子書房 |
| 3) 砂沢喜代次編 | 子どもの思考過程 | 明治図書 |
| 4) 金子惇一著 | 教科書研究資料 | 総合教育研究所 |
| 5) 上田 薫著 | 人間形成の論理 | 黎明書房 |
| 6) 川上 進ほか著 | 理科教育の研究 | 東洋館出版社 |
| 7) 板倉聖宜著 | 仮説実験授業 | 明治図書 |
| 8) ヴィゴツキー著 | 思考と言語 上 | 明治図書 |
| 9) 渋谷・井上著 | 論理的思考の構造 | 明治図書 |
| 10) ルビンシュティ著 | 思考心理学 | 明治図書 |
| 11) 平野勝敏著 | 子どもの科学的概念の発達 | 明治図書 |
| 12) 高松小学校著 | 思考操作の学習 | 明治図書 |

資 料

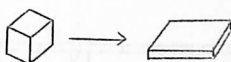
A 概念調査

- ① 「重さとは 为什么呢。」と聞かれたとき、あなたは、どのように答えますか。
自分の考えを くわしくせつめいしてください。
- ② 「力とは 为什么呢。」と聞かれたとき、あなたは、どのように答えますか。
自分の考えを くわしくせつめいしてください。
- ③ 同じ重さのおもりを ばね、ゴム、糸、はりがねでつるしました。
下の中から正しいものを ひとつえらび、番号に○をつけなさい。
- 1 4 つとも 同じ力で おもりをさげている。 4 ばねが いちばん大きい力で つりさげている。
2 4 つとも ちがう力で おもりをさげている。 5 糸が いちばん大きい力で つりさげている。
3 ゴムが いちばん大きい力で つりさげている。 6 はりがねが いちばん大きい力で さげている。
- ④ 下にあげたものから、重さのあるものには○、重さのないものには×を、その番号につけなさい。
(よくわからないものには、なにもつけないこと。) 調査内容は、Ⅱの1の(3)参照。
- ⑤ ねんどをまるめて、サイコロの形を作りました。つぎに 下のような形にすると、重さは、はじめの形のときの重さとくらべて、どうなると思いますか。よいと思うものに1つだけ○をつけなさい。なぜそう考えたか わけを書きなさい。



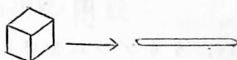
(1) ボールのようにすると

- 1 おもくなる 2 かるくなる 3 かわらない
4 わからない 答えたわけ



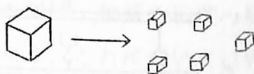
(2) 板のようにすると

- 1 おもくなる 2 かるくなる 3 かわらない
4 わからない 答えたわけ



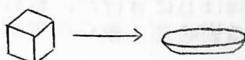
(3) 棒のようにすると

- 1 おもくなる 2 かるくなる 3 かわらない
4 わからない 答えたわけ



(4) 5 つに切ると、5 つぶんの重さは

- 1 おもくなる 2 かるくなる 3 かわらない
4 わからない 答えたわけ



(5) ふねのようにすると

- 1 おもくなる 2 かるくなる 3 かわらない
4 わからない 答えたわけ

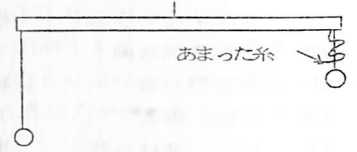
B 事前・事後、把持調査

- ①は、てこ実験器について、おもりのはたらく力の方角を聞いた。
②は、第1でこと、第2でこについて、力のはたらく方角を聞いた。
③ 下の図のように、同じ長さの糸に、同じ重さのおもりをむすびました。かたほうは 糸をむすん

でつけてあります。どのようなつりあいになりますか。1から4の中で、1つえらび()の中に○をつけなさい。

- () 1 糸の長いほうへ かたむく。
 () 2 糸のみじかいほうへ かたむく。
 () 3 たいらにつりあう。
 () 4 わからない。

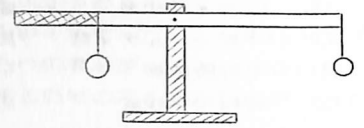
答えをえらんだわけを書きなさい。



4 図のように つりあっている棒に、重さのちがうおもりをつけて つりあわせました。図のところが切りとったらどのようなになりますか。1から4までの中で、1つえらび○をつけなさい。

- () 1 つりあっていたのだから同じ。
 () 2 支点からの長さは、同じだからかわらない。
 () 3 かたほうがかるくなるのだから、右にかたむく。
 () 4 わからない。

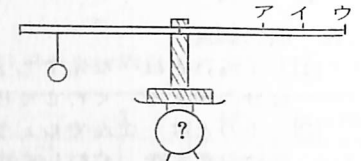
答えをえらんだわけを書きなさい。



5 図のように つくったしくみで、アからウの方へ 指でおさえながら、つりあわせていくと、はかりは どうなりますか、1つ○をつけなさい。

- () 1 だんだん小さな数になる。
 () 2 だんだん大きな数になる。
 () 3 かわらない。
 () 4 わからない。

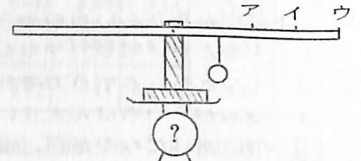
答えをえらんだわけを書きなさい。



6 図のように つくったしくみで、アからウの方へ 指でおさえながら、つりあわせていくとはかりは どうなりますか。1つ○をつけなさい。

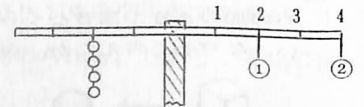
- () 1 だんだん小さな数になる。
 () 2 だんだん大きな数になる。
 () 3 かわらない。
 () 4 わからない。

答えをえらんだわけを書きなさい。



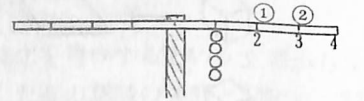
7 図のように 支点の左におもりを 4こつりさげました。つりあうためには、下のめもりのところにいくつおもりを つるせばよいでしょうか。□の中に おもりの数を書きなさい。

- ① 右のめもり 2 のところでは
おもりを □ こ
 ② 右のめもり 4 のところでは
おもりを □ こ



8 図のように 支点の右 1めもりのところにおもり4こ(60g)をつりました。つりあわせるために、ばねばかりで つりました。はかりのめもりは なんグラムをさすでしょうか。

- ① 右のめもり 2 のところでは
ばねばかりは □ g
 ② 右のめもり 3 のところでは
ばねばかりは □ g

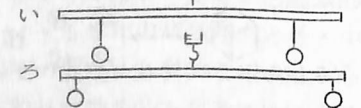


9 下のいの図のようにおもりをつけて、ぜんまいばかりではかったら、50グラムをさしました。つきに、ろの図のように、おもりをかけるところをかえたら、どのようなめもりをさしますか。

- A () 1 50グラムより重くなる。
 () 2 50グラムよりかるくなる。
 () 3 同じ50グラム。
 () 4 わからない。

B 上の答えは、どこ重さなのですか。

- () 1 ばうの両はじにかかるひっぱる力。 () 3 ばうの両はじにさげた、おもりの重さ。
 () 2 かたほうのばうにかかる重さ。 () 4 わからない。



10 下の図のばねばかりの めもりはなんグラムになりますか。ただし、ばうの重さは考えない。

- () 1 20g () 2 30g
 () 3 40g よりすこし少ない。
 () 4 40g
 () 5 40g よりすこし多い。

